



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

MASTER EN EDIFICACIÓN

TRABAJO DE FIN DE MASTER

ESTRUCTURAS PRETENSADAS: CONCEPTO, ANTECEDENTES Y APLICACIONES EN LA REPUBLICA DOMINICANA

Estudiante: Wilhelm Heinsen Rizek

Director: Ricardo José Gómez

Convocatoria: Marzo/Abril 2016

ÍDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
2	HISTORIA DEL CEMENTO, CONCRETO, ACERO Y CONCRETO ARMADO: DETALLE DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA	5
2.1	<i>CEMENTO</i>	5
2.2	<i>HORMIÓN ARMADO</i>	6
2.3	<i>ACERO</i>	7
3	MATERIALES PARA EL HORMIGÓN PRETENSADO	10
3.1	<i>Hormigón Endurecido</i>	10
3.2	<i>Curva de Tensión-Deformación del Hormigón</i>	11
3.3	<i>Módulo de Elasticidad y Cambio en Resistencia a Compresión en el Tiempo</i>	12
3.4	<i>Hormigón de Alta Resistencia</i>	13
3.5	<i>Resistencia a Compresión y Módulo de Elasticidad en Inicios</i>	13
3.6	<i>Fluencia</i>	14
3.7	<i>Contracción</i>	15
3.8	<i>Reforzamiento No Pre-Tensado</i>	15
3.9	<i>Pretensando: Acero de Refuerzo</i>	17
3.10	<i>Relajación del Acero</i>	20
3.11	<i>Corrosión y Deterioración de Hebras</i>	21
3.12	<i>Sistema de Pretensado y Anclaje</i>	21
3.13	<i>Sistema de Tesado (Gato Hidráulico)</i>	25
3.14	<i>Lechada o Cementada para Cubrir los Tendones Luego del Tesado</i>	25
3.15	<i>Requisitos para Los Ductos</i>	26
3.16	<i>Pretensado Circular</i>	27
4	HISTORIA DEL HORMIGÓN PRETENSADO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA	28
4.1	<i>Breve Historia de Puentes y Túneles del País</i>	28
4.2	<i>Bella Vista Mall</i>	29
4.2	<i>Ágora Mall</i>	31
4.3	<i>Blue Mall Punta Cana</i>	34
4.4	<i>Down Town Center</i>	35
5	PROCESO CONSTRUCTIVO Y PLANTA DE PRODUCCIÓN EN LA REPÚBLICA DOMINICANA	37
6	CONCLUSIONES	42

INTRODUCCIÓN

Todos sabemos que el desarrollo de una ciudad depende de muchas disciplinas, y cada una ejerce un papel importante en ella, ya sea la ingeniería, la economía, lo social, la media, etc. En el aspecto Ingenieril, una gran ciudad necesita tener la capacidad de crecer, haciendo construcciones con más capacidad, más volumen, mayor alcance, para poder cumplir con su desarrollo y crecimiento constante. Aquí es cuando los materiales de construcción y los métodos constructivos se hacen importantes. De todos los últimos avances que han podido dar paso a construir obras más grandes, en este trabajo daremos detalle del método de construcción de la viga pre-tensada. Mi interés en la materia nace de haber tomado la clase de Estructura Pretensadas durante el ciclo de la maestría, y luego de haber aprendido el método de cálculo y diseño del mismo, surge el interés de descubrir el historial del método en mi país.

Como Trabajo Final de Master, para el Master de Edificación, he decidido realizar una tesina documental, acerca de las “**Estructuras Pretensadas**: concepto, antecedentes y aplicaciones en la República Dominicana”.

En esta tesina, voy a dar detalle de los materiales que conforman la técnica constructiva, como se descubrieron y su desarrollo en el tiempo. Voy a describir paso a paso el proceso constructivo de la misma, capacidades y resistencias, y las ventajas que ofrece.

Daré detalles de la historia del pretensado en la República Dominicana, sus inicios y usos hasta el día de hoy. Como bien saben, la Republica Dominicana siempre fue un país con un historial muy conflictivo. A pesar de iniciar sus tiempos siendo una nación Española, llamada La Hispanilla, luego de la independización de esa gran nación, sufrió muchos conflictos internos. Una época donde sufrimos una serie de conflictos internos, con el país vecino de Haití o con los Estados Unidos, eventos que afectan el desarrollo. Ya a comienzos de los 1920 's cuando finalmente se obtiene una estabilidad nacional, comienzan la ciudad a crecer y hacer realizar sus primeras obras considerables.

Por último, daré detalles de su proceso constructivo específicamente en el país, como una forma de ver el alcance del país en cuanto a construcciones y logros ingenieriles.

Una conclusión acerca de mi experiencia en este proyecto de investigación, y las facilidades y dificultades que tuve al realizarla se encuentra al final.

Espero que le sea interesante y sirva como documento para informar al publico acerca de mi gran país.

HISTORIA DEL CEMENTO, CONCRETO, ACERO Y CONCRETO ARMADO: DETALLE DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA

Cemento

A lo largo de la historia el cemento ha sido el principal material de construcción ya que se obtiene por mezclas de caliza, arcilla y yeso, que son muy abundantes en la naturaleza.

Una de las construcciones más antiguas en las que se empleó una mezcla primitiva semejante al cemento en Lepenski Vir (Yugoslavia), que data del 5.600 a.C que trataba de un compuesto formado por cal roja y aditivos.

En Chile alrededor del 3.000 a.C. los indios usaban un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas en las paredes de sus chozas, los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en grandes construcciones como la pirámide de Giza (2.500 a.C.) y en Troya y Micenas crearon muros con piedras unidas por arcillas

La civilización romana fue la primera en desarrollar el uso del cemento, para cuya producción empleaban cal viva y cenizas volcánicas, y crear un conglomerante que será utilizado entre paredes para proporcionar fuerza y peso a la estructura. Con esto construyeron grandes edificios municipales, alcantarillados, sistemas de agua, anfiteatros y coliseos.

Más adelante, en lugar de la piedra, se introdujo el hormigón, ya con agregados mas finos, y combinaciones de bloques y ladrillos.

No obstante, el hormigón desaparece después del Imperio Romano, y no será hasta el siglo XVIII cuando resurja el interés por el conocimiento de los cementos y se comienza a experimentar con los diferentes tipos para incrementar la fuerza y la durabilidad del hormigón.

Así, en 1758, un ingeniero de Leeds (Reino Unido), ideó un nuevo mortero al reconstruir el faro de Eddystone, en la costa de Cornish. donde descubrió que los morteros formados por la adición de una puzolana a una caliza con alta proporción de arcilla eran los que mejores resultados daban frente a la acción del agua de mar y que la presencia de arcilla en las cales las mejoraba, haciendo que éstas fraguasen bajo el agua y que una vez endurecidas fuesen insolubles.

Posteriormente, en el siglo XIX, Rev James Parker crea un nuevo tipo de cemento calcinando las piedras de cal, llamándolo “cemento romano”, ya que se pensaba que era el mismo que 2.000 años antes usó este pueblo.

En 1824 Joseph Aspdin, calcinó una mezcla de tres partes de piedra caliza y una de arcilla. Éste fue el padre del cemento moderno, llamándolo portland y que su aspecto era similar al de las calizas de la isla de Portland.

No obstante, puede decirse con acierto que el padre del cemento fue el químico francés Vicat, que propuso en 1817 un sistema de fabricación, dosificando las mezclas de calizas y arcillas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente, apareciendo como consecuencia los primeros cementos naturales, los actuales portland.

Años después, en 1838 Brunel emplea por primera vez un cemento procedente de la fábrica de Aspsdin en el que se había logrado una parcial sintonización al elegir una temperatura adecuada de cocción. Este cemento se aplicó en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres.

Con todo, el cemento portland, tal y como hoy lo conocemos, fue producido en 1845 por Isaac C. Jhonson al moler finamente los nódulos sobrecosidos que quedaban a la salida del horno de Apsdin. Con esta idea mejoró las dosificaciones y aumentó las temperaturas de cocción hasta lograr la sintonización de la mezcla.

El intenso desarrollo de la construcción de ferrocarriles, puentes, puertos, diques, etc. en la segunda mitad del siglo XIX promocionó el uso de este producto y sus fábricas, especialmente las de cemento natural, que empezaron a extenderse por doquier.

Igualmente beneficiosa para el desarrollo de la industria fue la invención de los hornos rotatorios para la calcinación y el molino tubular para la molienda, ya que contribuyeron a reducir los costes de fabricación e incrementar la disponibilidad de este material, pudiendo producirse el cemento portland en cantidades comerciales.

Así como la Revolución Industrial supuso la progresiva desaparición de los procesos artesanales de producción, el desarrollo de las nuevas tecnologías actuales han provocado la evolución y mejora continua del cemento y de su proceso de fabricación.

A medida que se va logrando el desarrollo de la ciudades, al mismo paso va las investigaciones e inventos para mejorar el cemento. Una de las tecnologías que más posibilidades de futuro ofrece a los cementos es la nanotecnología, ya que la creación de nano estructuras hace posible mejorar tanto las propiedades de los cementos como los procesos constructivos del mismo.

Hormigón Armado

El hormigón solo presenta una buena resistencia a compresión, como les ocurre a las piedra naturales, pero ofrece muy escasa resistencia a tracción, por lo que resulta inadecuado para piezas que hayan de trabajar a flexión o tracción. Pero si se refuerza el hormigón en masa disponiendo barras de acero en las zonas de tracción, el material resultante, llamado *hormigón armado*, está en condiciones de resistir los distintos esfuerzos que se presentan en las construcciones.

Los iniciadores del hormigón armado como material de construcción fueron los franceses Monier y Coignet, que ya en 1861 dieron reglas para la fabricación de vigas, bóvedas, tubos, etc. Desde entonces, a o largo de más de un siglo, a técnica del hormigón armado ha experimentado un amplio desarrollo, pudiendo decirse que en la actualidad este material a llegado a ser empleo preferente en numerosas aplicaciones,

siendo éstas más amplias que las de cualquier otro material de construcciones, siendo éstas más amplias que las de cualquier otro material de construcción.

El hormigón armado presenta, como ventaja indiscutible frente a los demás materiales, su cualidad de formaceo, es decir, de adaptarse a cualquier forma de acuerdo con el molde o encofrado que lo contiene. Ello proporciona al técnico que lo emplea una mayor libertad al proyectar estructuras, con la contrapartida de exigir de él un proyecto más prolijo, por existir más variables que definir y más aspectos que detallar. En la elección final hay que tener en cuenta la factibilidad de ejecución, tanto del encofrado como de la colocación de armaduras y del hormigón.

La durabilidad y resistencia al fuego del hormigón armado son superiores a las que presenta la madera, siempre que los recubrimientos y la calidad del hormigón sean acordes con las condiciones del medio que rodea a las estructura. Frente al acero, el hormigón armado resulta económico y casi siempre competitivo, ofreciendo la ventaja de su mayor monolitismo y continuidad. Sin embargo en comparación con las estructuras metálicas, las de hormigón armado tienen el inconveniente de conducir a mayores dimensiones y pesos, así como a una menor rapidez de construcción, salvo en los casos de prefabricación.¹

Acero

Se desconoce la fecha exacta en que se descubrió la técnica para obtener hierro a partir de la fusión de minerales, sin embargo, los primeros restos arqueológicos de utensilios de hierro datan del 3000 a. C. y fueron descubiertos en Egipto. Algunos de los primeros aceros provinieron del este de África, cerca de 1400 a. C.² Durante la dinastía Han de China se produjo acero al derretir hierro forjado con hierro fundido, en torno al siglo I a. C.³

También adoptaron los métodos de producción para la creación de acero wootz, caracterizado por tener patrones. Se creaba por un proceso cuyo método consistía de un horno de viento, soplado por los monzones, surgido en India y en Sri Lanka desde aproximadamente el año 300 a. C. y exportado a China hacia el siglo V, que dio paso a crear el acero Damasco.⁴ Este era una aleación de hierro con gran número de diferentes materiales, incluyendo trazas de otros elementos en concentraciones menores a 0.1 % de la composición de la roca. Entre los siglos IX y X se produjo en Merv el acero de crisol, en el cual el acero se calentando y enfriaba en un crisol de arcilla, con la presencia de carbón.

La tecnología del hierro se mantuvo mucho tiempo en secreto, difundiéndose extensamente hacia el año 1200 a. c. El hierro para uso industrial fue descubierto hacia el año 1500 a. C., en el monte Ararat, en Armenia.⁵ Los métodos antiguos para

¹ Jimenez Montoya, Pedro (2000) Hormigón Armado, Capitulo 9, Editorial Gustavo Gili, p. 160

² Civilizations in Africa: The Iron Age South of The Sahara

³ Neeham, Joseph (1986). Science and Civilization in China: Volume 4, Part 3, Civil Engineering and Nautics. Taipei: caves books, Ltd. p. 563

⁴ Neeham, Volume 4, Part 1, p. 282

⁵ Museo de la Metalurgia, Eligóbar

la fabricación del acero consistían en obtener hierro dulce en el horno con carbón vegetal, con una posterior expulsión de las escorias por martilleo y carburación del hierro dulce para cementarlo. Luego, a partir de 1740 se perfeccionó la cementación fundiendo el acero de crisol en Sheffield, Inglaterra.⁶

En 1878 se emplea electricidad para calentar los hornos de acero. El uso de hornos de arco eléctricos para la producción comercial comenzó en 1902, en el cual se hace pasar dentro del horno un arco eléctrico entre chatarra de acero cuya composición se conoce y unos grandes electrodos de carbono situados en el techo del horno.

Tras la segunda guerra mundial se iniciaron experimentos en varios países con oxígeno puro en lugar de aire para los procesos de refinado del acero. El éxito se logró en Austria en 1948, cuando una fábrica de acero situada cerca de la ciudad de Linz, Donawitz desarrolló el proceso del oxígeno básico.

El acero al carbono o acero de construcción, constituye una proporción importante del aceros producido mundialmente. Esta categoría se separa de otros tipos de acero, como los aceros inoxidable, a los aceros para herramientas, a los aceros para usos eléctricos o a los aceros para electrodomésticos o partes no estructurales de vehículos de transporte.

La composición química este tipo de acero es compleja, además del carbono y el hierro que generalmente no supera el 1%, la aleación contiene silicio y manganeso entre otros elementos que también son necesarios para su producción y otros que los contiene ya que se dificulta su extracción, como el azufre, fósforo, oxígeno, hidrógeno, etc. El carbono aumenta la resistencia de tracción pero al mismo tiempo su fragilidad, por lo que lo hace menos dúctil.

A continuación tenemos varios tipos de acero de construcción con diferentes concentraciones de carbono:

- Acero dulce: El porcentaje de carbono es de 0,25%, tiene una resistencia mecánica de 48-55 kg/mm² y una dureza de 135-160 HB. Se puede soldar con una técnica adecuada. Aplicaciones: Piezas de resistencia media de buena tenacidad, deformación en frío, embutición, plegado, herrajes, etc.
- Acero semidulce: El porcentaje de carbono es de 0,35%. Tiene una resistencia mecánica de 55-62 kg/mm² y una dureza de 150-170 HB. Se temple bien, alcanzando una resistencia de 80 kg/mm² y una dureza de 215-245 HB. Aplicaciones: Ejes, elementos de maquinaria, piezas resistentes y tenaces, pernos, tornillos, herrajes.
- Acero semiduro: El porcentaje de carbono es de 0,45%. Tiene una resistencia mecánica de 62-70 kg/mm² y una dureza de 180 HB. Se temple bien, alcanzando una resistencia de 90 kg/mm², aunque hay que tener en cuenta las deformaciones. Aplicaciones: Ejes y elementos de máquinas, piezas bastante resistentes, cilindros de motores de explosión, transmisiones, etc.

⁶ Varios Autores (1984). Enciclopedia de Ciencia y Técnica. Tomo 1 Acero. Salvat Editores S.A.

- Acero duro: El porcentaje de carbono es de 0,55%. Tiene una resistencia mecánica de 70-75 kg/mm², y una dureza de 200-220 HB. Templa bien en agua y en aceite, alcanzando una resistencia de 100 kg/mm² y una dureza de 275-300 HB.
- Aplicaciones: Ejes, transmisiones, tensores y piezas regularmente cargadas y de espesores no muy elevados.

MATERIALES PARA EL HORMIGÓN PRETENSADO

Hormigón Endurecido

Para comenzar con los materiales para el pretensado, el hormigón viene siendo el elemento mas importante ya que el material mas abundante. cuando hablamos del hormigón, sabemos que es una mezcla entre cemento, grava, arena y agua, pero para lograr un una buena calidad del hormigón necesitamos un una serie de factores que nos permiten tener un hormigón más optimo.

Las propiedades importante de un buen hormigón se pueden medir mediante la capacidad de compresión, tensión, cortante y rigidez de mismo, esta midiéndose con el módulo de elasticidad.

Para medir la capacidad de compresión del hormigón, se utiliza el método especificado por la ASTM C-39. En el momento que se está vaciando el hormigón se toman unas muestras cilíndricas 15cm x 30cm, que permanecen en aguas por 28 días. Acabo del tiempo, estas son sometidas a una prueba ce compresión por un pistón, que mide la resistencia de la misma justo antes de su rotura.

El código ACI requiere que se tomen un promedio de 2 probetas del mismo ejemplar de hormigón y se prueben ambas a los 28 días. En cuanto a la frecuencia de las pruebas, el código especifica que la resistencia de una clase de hormigón puede ser considerada satisfactoria si (1) el promedio de tres pruebas consecutivas de tres muestras equivalen o superan el f'_c esperado o (2) ninguna prueba da como resultado 35 kg/cm² menos de lo esperado. En conclusión, el f'_c deseado no puede ser el promedio de las pruebas, sino el mínimo de todas las pruebas.

La resistencia a la tensión del hormigón es relativamente pequeña. Una buena aproximación es de la tensión del hormigón f'_{ct} es de $0.10f'_c < f'_{ct} < 0.20f'_c$. Es muy difícil medir la resistencia a la tensión debido al problema de agarre con las máquinas de prueba. Sin embargo, existen varios métodos para medirla, tales como la prueba por Partidura de probetas, especificado por la ASTM C-496, o el ensayo Brasileño.

Para elementos sujeto a flexión, en ves de la resistencia a tracción, para los diseño se utiliza el modulo de rotura f . Este valor se obtiene realizando prueba a las probetas cilíndricas de hormigón, sometiéndole una carga transversal en toda la longitud de la probeta. El módulo de rotura tiene un valor mayor al de resistencia a la flexión. El ACI especifica un valor de $7.5 \sqrt{f'_c}$ para el módulo de rotura de un hormigón de peso normal.

La resistencia al cortante es más difícil de medir experimentalmente que las otras fuerzas, debido que es difícil realizar una prueba que solo afecte en cortante (aislar el cortante de los otros esfuerzos). A esto se debe la gran variación de los valores de resistencia a cortante en las publicaciones, variando desde un 20% de la fuerza de compresión en cargas normales hasta un 85% de la resistencia la compresión en casos que la carga igual afecte en compresión. Controlar un diseño estructural que sea resistente al cortante es muy inusual, ya que el esfuerzo a cortante estaría limitado a valores muy pequeños para proteger el hormigón de fallar en una tensión diagonal.

Curva de Tensión-Deformación del Hormigón

El conocimiento acerca de la relación entre tensión y deformación es muy importante cuando se trata de analizar y diseñar términos y procedimientos en estructuras de hormigón. La figura 2.2 trata una típica curva tensión-deformación obtenida por las pruebas realizadas a las probetas cilíndricas de hormigón. Podemos ver que a un 40% de la carga última f'_c , esencialmente puede ser considerada lineal para cualquier propósito, pero cuando se acerca a un 70% podemos ver que ya ha perdido una gran porción de su rigidez, aumentando así la curvatura en el diagrama.

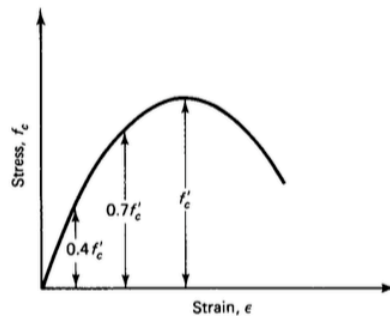


Figura 1: Típica curva de esfuerzo-deformación del hormigón⁷

A continuación tenemos una Figura en la que se presentan varios resultados reportados por la Asociación de Cemento Portland, en las que podemos hacer tres observaciones: (1) mientras más baja es la resistencia del hormigón mayor es la deformación previo a la rotura, (2) la longitud de la porción lineal del diagrama aumenta cuando incrementa la resistencia del hormigón y (3) hay una aparente reducción de la ductilidad al aumentar la resistencia.

⁷ Nawy, Edward (2009), Prestressed Concrete: A Fundamental Approach, Prentice Hall, p.36

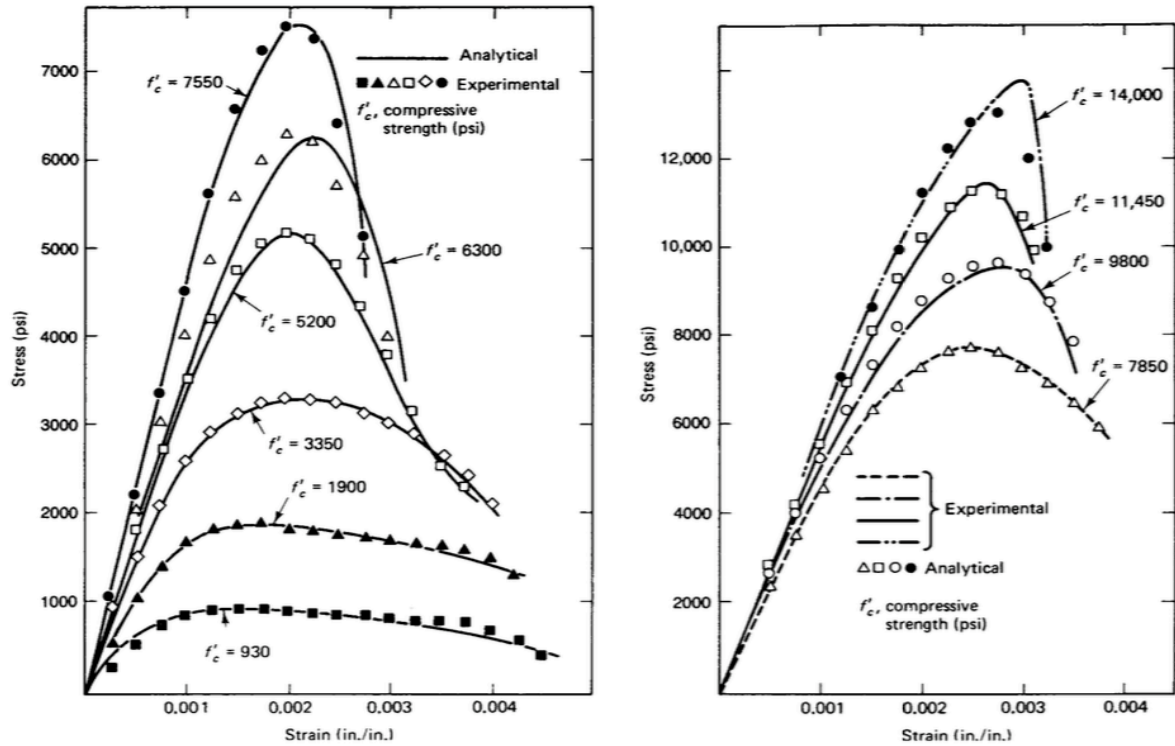


Figura 2: Curva de esfuerzo-deformación del hormigón de diferente resistencias.⁸

Módulo de Elasticidad y Cambio en Resistencia a Compresión en el Tiempo

Debido a que la curva tensión deformación ilustrada en la Figura 2.4 demuestra una curvatura a una etapa inicial de su historia de carga, el módulo de elasticidad de Young puede ser aplicado solamente en la tangente de la curva en el origen. La pendiente inicial de la tangente de la curva es definida como el módulo tangencial inicial, y también es posible construir un módulo tangencial en cualquier punto de la curva. La pendiente de la línea recta que conecta el origen a una tensión dada (aprox $0.4 f'_c$) determina el módulo secante de la elasticidad del hormigón. Este valor, denominado el *módulo de elasticidad* en el calculo del diseño, satisface la suposición práctica de que la deformación que ocurre cuando se carga el elemento puede ser considerado básicamente elástico (recupera la forma cuando se remueve la carga) y que cualquier deformación subsecuente a la carga puede ser considerada plástica.

El código de construcción ACI establece la siguiente expresión para calcular la secante del módulo de elasticidad del hormigón, E'_c

$$E'_c (kg/cm^2) = 0.14w_c^{1.5}\sqrt{f'_c} \quad \text{para } 1500 \text{ kg/m}^3 < w_c < 2500 \text{ kg/m}^3$$

donde w_c es la densidad del hormigón en kilogramos por metros cúbicos y f'_c es la compresión del cilindro en kg/cm^2 . Para hormigón de peso normal,

$$E'_c (kg/cm^2) = 0.043w_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$$

⁸ Nawy et al, Capítulo 2, p, 37

Hormigón de Alta Resistencia

Es establecido por el código del ACI 318 que una probeta de hormigón de alta resistencia tiene que soportar una compresión entre 420-850 kg/cm², teniendo un módulo de elasticidad de

$$E_c \text{ (MPa)} = \left[3.32 \sqrt{f'_c} + 6.895 \right] \left(\frac{w_c}{2320} \right)^{1.5}$$

donde f'_c = MPa y w_c = Kg/m³.

Hoy en día, la resistencia del hormigón puede llegar a 1,400 kg/cm² gracias al uso de agregados más grandes de 9.5mm y un cemento puzolánico como el Bióxido de Silicio, que sustituye el cemento tradicional. Para incrementar la resistencia hasta 2,100 kg/cm², se requiere el uso de fibras metálicas o de carbón en la mezcla.

Resistencia a Compresión y Módulo de Elasticidad en Inicios

Debido a que el pretensado se realiza en mayor de los casos antes de completar los 28 días, es importante determinar la resistencia del hormigón f'_{ci} en la etapa de pretensado, al igual que el módulo de Elasticidad mientras se está cargando el elemento

$$f'_{ci} = \frac{t}{\alpha + \beta t} f'_c$$

donde f'_c = resistencia del hormigón a los 28 días

t = tiempo en días

α = factor que depende del tipo de cemento y las condiciones de curado

= 4.00 para cemento tipo-I curado con agua y 2.30 para cemento tipo-III

= 1.00 para cemento tipo-I curado con vapor y 0.70 para cemento tipo-III

β = factor que depende de los mismo parámetros de α dado los valores correspondiente de 0.85, 0.92, 0.95 y 0.98, respectivamente

El módulo de elasticidad del hormigón E'_c es:

$$E'_c = \frac{\text{tension}}{\text{deformación elástica} + \text{deformación plástica}}$$

el módulo de elasticidad efectivo último esta dado por

$$E_{cn} = \frac{E_c}{1 + \gamma_t}$$

donde γ_t es la relación de la fluencia como

$$\gamma_t = \frac{\text{deformación máxima}}{\text{deformación plástica}}$$

Para el hormigón pretensado de calidad existen unos límites inferiores y superiores para la relación de la fluencia:

Inferiores: $\gamma_t = 0.75 + 0.75 \left(\frac{100-H}{50} \right)$

Superiores: $\gamma_t = 1.75 + 2.25 \left(\frac{100-H}{65} \right)$

donde H representa la humedad en porcentaje.

Fluencia

Fluencia del hormigón, es el aumento de deformación en el tiempo debido a la carga suspendida. La deformación inicial de la carga se denomina deformación elástica, mientras que las deformaciones adicionales producidas por la misma carga a través del tiempo se denomina deformación plástica.

En la figura 3 se demuestra una deformación plástica, que va disminuyendo a través del tiempo, igual se da el caso con la contracción del hormigón. La deformación plástica no se puede observar directamente y se puede determinar solamente deduciendo la deformación elástica y la deformación por contracción, de la deformación total:

$$\text{Deformación total } \epsilon_t = \text{def. elástica } \epsilon_e + \text{def. plástica } \epsilon_p + \text{def. por contracción } \epsilon_c$$

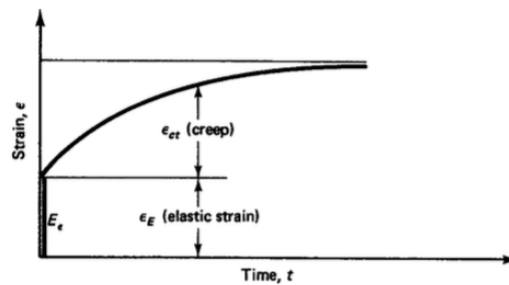


Figura 3: Curva de tiempo-deformación⁹

Como es en el caso de contracción, la fluencia no es completamente reversible. Si un elemento es descargado luego de un periodo estando cargado, se produce una recuperación elástica que es resulta ser menor que la precipitada al momento de ser cargada. La recuperación inmediata es seguida por una disminución gradual de la deformación, llamada recuperación de fluencia.

El alcance de la recuperación depende de la edad del hormigón al momento de ser cargado. mientras más edad tenga el hormigón mayor se reestablecerá de la

⁹ Nawy et al, Capítulo 2, p, 44

deformación, pero las deformaciones residuales permanecerán en la estructura (ver Figura 4).

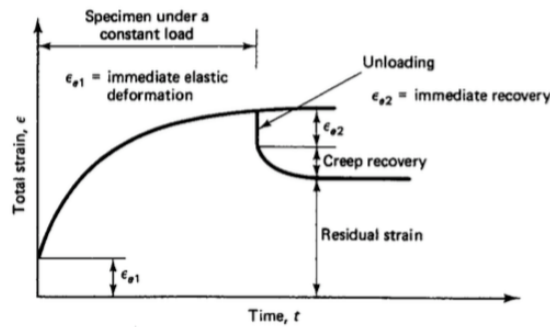


Figura 4: Recuperación de tiempo-deformación¹⁰

Contracción

Cuando se trata del hormigón, existen dos motivos por el cual se puede contraer: contracción plástica y contracción por secado. La contracción plástica ocurre en las primeras horas de colocar el hormigón. En las superficies que están más expuestas tales como pisos y losas, están más afectadas debido a que tienen más superficie expuesta al medio ambiente y el agua tiende a evaporarse más rápido de lo que se sustituye por el agua en la parte baja. En esta contracción sucede mientras se evapora el agua, pero si sucede lo contrario y el hormigón absorbe mucho agua se le llama hinchazón. La contracción por secado sucede cuando el hormigón ha alcanzado la etapa final y una buena parte de la hidratación de la mezcla del cemento se ha logrado.

La contracción es un proceso parcialmente irreversible. Aunque un elemento de hormigón se sature de agua después de haberse encogido, este no va a crecer a su volumen inicial. Con el tiempo disminuye el ritmo al cual se puede deformar ya que el hormigón, al paso del tiempo se va haciendo más resistente.

Reforzamiento No Pre-Tensado

El acero de refuerzo para el hormigón consiste en barras, alambres y mallas electro soldadas, todas cuales están fabricadas con el estándar ASTM. Las propiedades importantes a tomar en cuenta sobre el acero de refuerzo son:

1. Módulo de Young E_s
2. Limite elástico f_y
3. Resistencia a la rotura f_u
4. Grado de acero
5. Tamaño o diámetro de la barra o alambre

¹⁰ Nawy et al, Capítulo 2, p, 45

Para incrementar el enlace entre el hormigón y el acero, las varillas se **corrugan** con diversos diseños en la superficie, como se muestra en la Imagen 1, según sea aprobado por la Especificación A616-76 de la ASTM.

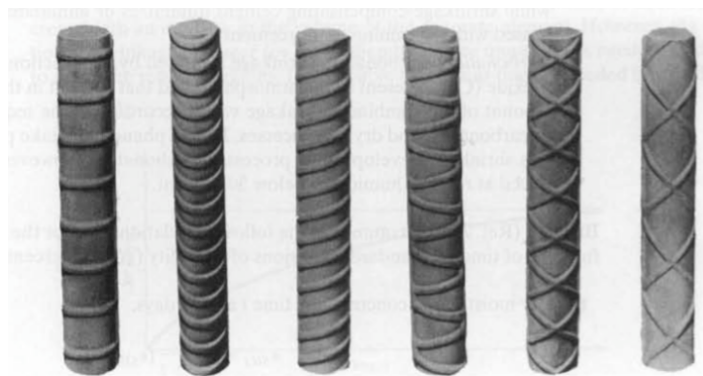


Figure 2.15 Various forms of ASTM-approved deformed bars.

Imagen 1: Varios diseños de varillas aprobados por la ASTM.¹¹

Los grados de acero de las barras más utilizados son 40, 60 y 70, correspondiendo a una resistencia de 276, 345, y 517 MPa (40,000, 60,000 y 75000 psi respectivamente). Para las barras de grado 40 y 60, el límite elástico se calcula por 0.005 de la resistencia a la rotura, y en el caso de la barra grado 80 se calcula con 0.0035. En la figura 6 se muestran unas curvas de tensión-deformación de diferente barras de acero.

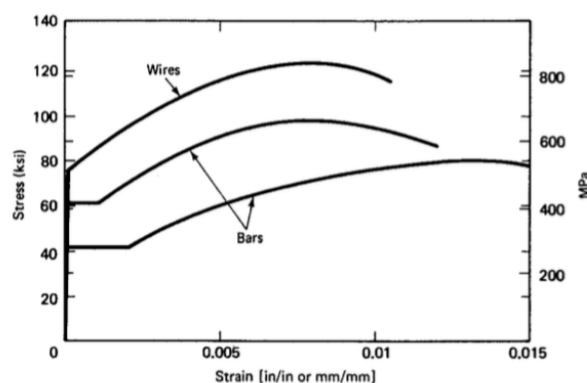


Figura 6: Diagrama con curvas de deformación-esfuerzo de acero no pretensado¹²

¹¹ Nawy et al, Capítulo 2, p, 50

¹² Nawy et al, Capítulo 2, p, 55

Pretensando: Acero de Refuerzo

Tipos de refuerzo

Aún se produzcan pérdidas por fluencia y contracción del hormigón, se puede lograr un pretensado efectivo utilizando cables de gran resistencia, entre 1,862 MPa y más. Esto permite poder contrarrestar las pérdidas y poder crear tensión adicionales para cumplir con las requeridas de un hormigón pretensado. La magnitud de pérdidas de un hormigón pretensado puede variar entre 241 hasta 414 MPa, por lo que la tensión inicial del pretensado debe variar entre 1,241 a 1517 MPa, para que luego de las pérdidas haya tensión suficiente.

El acero pretensado de refuerzo puede ser en forma de alambres simples, hebras compuestas por varios alambres enrollados hasta formar un solo elemento y barras de acero de alto rendimiento.

Los alambres utilizados son anteriormente recocidos, estirado en frío conforme a los estándares A421 de la ASTM, las hebras están reguladas por la A416 de la ASTM. Las hebras están echas con 7 alambres, 6 enrollados alrededor de uno ligeramente más grande. Para maximizar el área de acero de las hebras de 7 alambres de cualquier diámetro dado, los alambres se pasan por una prensa para ser compactados. Como se muestra en la figura 7(b), terminas teniendo menos volumen de aire entre los alambres, a diferencia que las hebras estándar que se muestra en la figura 7(a).

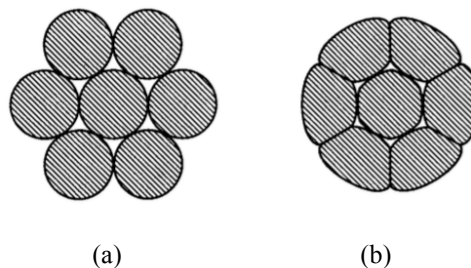


Figura 7: Sección de hebras o tendones de 7 alambres estándares (a) y compactados (b)¹³

Las propiedades geométricas establecidas por la ASTM A779 se muestra en las tablas 1 y 2 respectivamente.

¹³ Nawy et al, Capítulo 2, p, 55

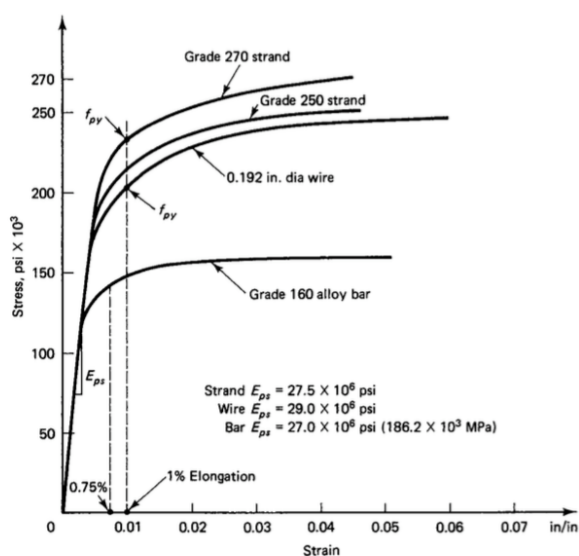
**Tabla 1: Tendón de Siete Alambres Estándar para Hormigón Pretensado
Grado 270 (ASTM A779)¹⁴**

Diametro nominal (mm)	Fallo nominal de los tendones (min KN)	Area nominal de acero (mm ²)	Peso nominal del tendón (por cada 1,000 m-N)
9.56	102.30	54.83	432.10
11.13	137.89	74.18	581.10
12.70	183.70	98.69	774.80
15.24	260.65	139.97	1,102.60

**Tabla 2: Tendón de Siete Alambres Compactos para Hormigón Pretensado
Grado 270 (ASTM A779)¹⁵**

Diametro nominal (mm)	Fallo nominal de los tendones (min KN)	Area nominal de acero (mm ²)	Peso nominal del tendón (por cada 1,000 m-N)
12.75	209.06	112.23	894.00
15.24	299.97	170.93	1,300.77
17.78	379.99	223.17	1,752.24

La figura 8(a) podemos ver curvas típicas de tensión-deformación, para alambres y hebras de acero pretensado, mientras que la figura 8(b) muestra graficas para acero dulce.



¹⁴ Instituto del Post-Tensado

¹⁵ Instituto del Post-Tensado

Figura 8(a): Diagrama de deformación-esfuerzo para acero pretensado¹⁶

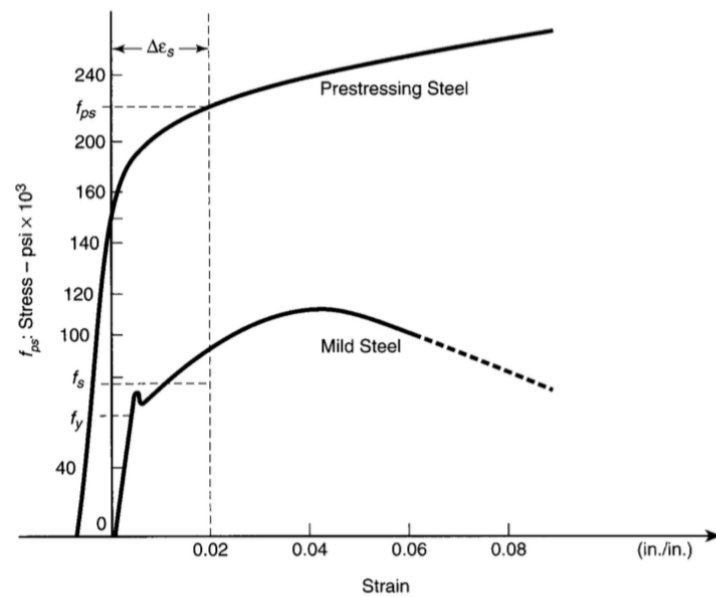


Figura 8(b): Diagrama de comparación deformación-esfuerzo del acero dulce y pretensado¹⁷

Las barras acero de aleación de alta resistencia para pretensado suelen ser o lisa o corrugadas, estando disponible en las dimensiones entre 19mm y 35mm, cumpliendo con el estándar A722 de la ASTM. Estiradas en frío para aumentar su límite elástico, pero igualmente recocidas para aumentar su ductilidad. Esto se logra calentando la barra a una temperatura apropiada, usualmente bajo los 500°C, para el metal sobre la temperatura de cristalización y luego ser enfriado. El mismo proceso de las barras es aplicado a las hebras. Aunque el proceso de cocción disminuye la resistencia de la barra, la resistencia a tracción mínima debe ser de 1034 MPa, con un límite elástico de un 85% de la carga última para barras lisa y 80% para barras corrugadas. En la tabla 2.9 se muestran propiedades geométricas requeridas por la A 722 de la ASTM para las barras de pretensado.

¹⁶ Nawy et al, Capítulo 2, p, 56

¹⁷ Nawy et al, Capítulo 2, p, 57

Tabla 3: Barras de Acero para Hormigón Armado¹⁸

Tipo de barra*	Diametro nominal (mm)	Area nominal de acero (mm ²)
Aleación Suave	19.05	285.09
Acero Grado 145 o 160 (ASTM A722)	22.23	388.29
	25.40	506.33
	28.58	641.13
	31.75	791.42
	34.93	957.83
Barras Deformadas	15.88	180.60
	25.40	549.54
	31.75	835.28

* Grado 145 fpu = 1,000 Mpa

Grado 160 fpu = 1,003 Mpa

Relajación del Acero

La relajación del acero es la pérdida de tensión de los cables o hebras del pretensado debido a estar sujeto a una tensión constante. Es idéntico a la fluencia en el hormigón, excepto que es un cambio de tensión y en el acero es una pérdida de tensión. La pérdida de tensión debido a la relajación del acero se puede evaluar por la siguiente fórmula:

$$\Delta f_R = f_{pi} \frac{\log t}{10} \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0.55 \right)$$

donde t = tiempo, y siempre que $f_p/f_{py} \geq 0.55$ y $f_{py} \cong 0.85 f_{pu}$ para hebras recocidas.

Es posible reducir la tensión perdida por la relajación del acero sometiendo hebras que son inicialmente tensadas hasta un 70% de su carga última f_{pu} , entre 20°C y 100°C, por un lapso de tiempo extendido para producir un alargamiento permanente, proceso llamado estabilización.

¹⁸ Nawy et al, Capítulo 2, p, 58

Corrosión y Deterioración de Hebras

La protección contra la corrosión es más importante en elemento pretensados, ya que la fuerza del pretensado esta basada en el área de acero, y cualquier reducción por la corrosión puede reducir dramáticamente el momento nominal del elemento y provocar un fallo prematuro en el elemento. En estos elementos la protección esta dada por el hormigón que rodea los tendones, que haya dado una protección completa adecuada. En elemento post-tesado la protección esta dada por la sustancia colocadas en los ductos luego de que el tesado sea efectivo.

Sistema de Pretensado y Anclaje

El pretensado del acero es tesado y sujetado con anclajes independientes antes de que el hormigón sea colocado alrededor de esto. Tales anclajes están sujetos por planchas de metal que soportan las fuerzas aplicadas por los tendones (hebras). El termino “pretensado” se refiere al pretensado del acero destinado a pretensar, no al acero de la viga, por consiguiente, la viga pretensada es tesada antes de vaciar el hormigón, y la post-tensada es tensada después que el hormigón se haya vaciado y haya alcanzado una buena parte de su resistencia. El pretensado es normalmente realizado en una planta de construcción de vigas, donde cuentan con moldes largos para contener el hormigón, una losa de hormigón debajo y planchas de acero o paredes en los extremos, diseñadas para soportar las cargas excéntricas del tesado. El tesado se puede lograr tensando un tendón a la vez o todos al mismo tiempo.

Para ubicar los tendones en la posición adecuada, el molde inferior de la viga cuenta con dispositivos de anclaje como se muestran en la figura 9. Ya que el molde inferior puede estar entre los 30-60 m de largo, varios elementos prefabricado pretensado se pueden producir en una operación, y los tendones que queden expuestos se pueden cortar luego de que el hormigón haya endurecido.

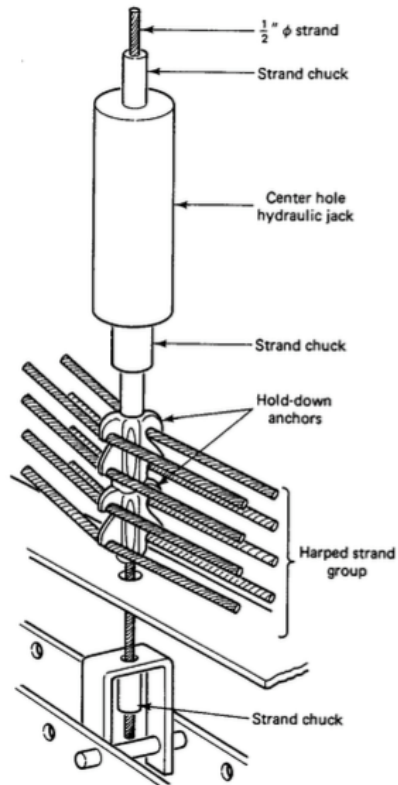


Figura 9: Anclaje para mantener los tendones en la parte baja de la viga¹⁹

Pretensando varios elementos en un solo molde esta mostrado en la figura 10, y el posicionamiento de los tendones dentro del molde esta mostrado en la imagen 2.

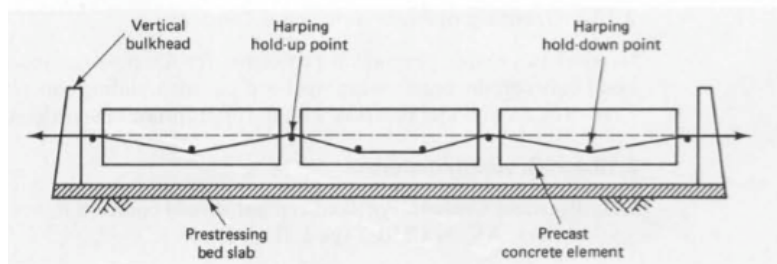


Figura 10: Esquema de un molde de pre-tensado²⁰

¹⁹ Instituto del Post-Tensado

²⁰ Nawy et al, Capítulo 2, p, 58



Imagen 2: Amarre de los tendones en un molde de pre-tensado²¹

En pretensado, para anclar los cables y tendones se utilizan diferentes métodos patentizados, varios son ilustrados en la Imagen 3, 4, 5, 6 y 7²²:

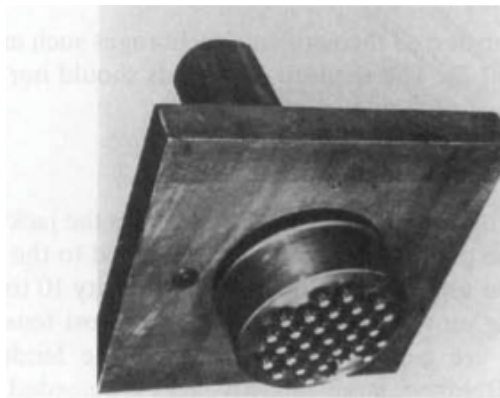


Imagen 3: Anclaje de tendón

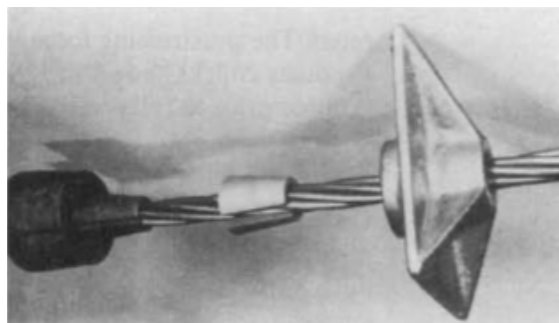


Imagen 4: Mono anclaje de tendón

²¹ Nawy et al, Capítulo 2, p, 63

²² Instituto del Post-Tensado

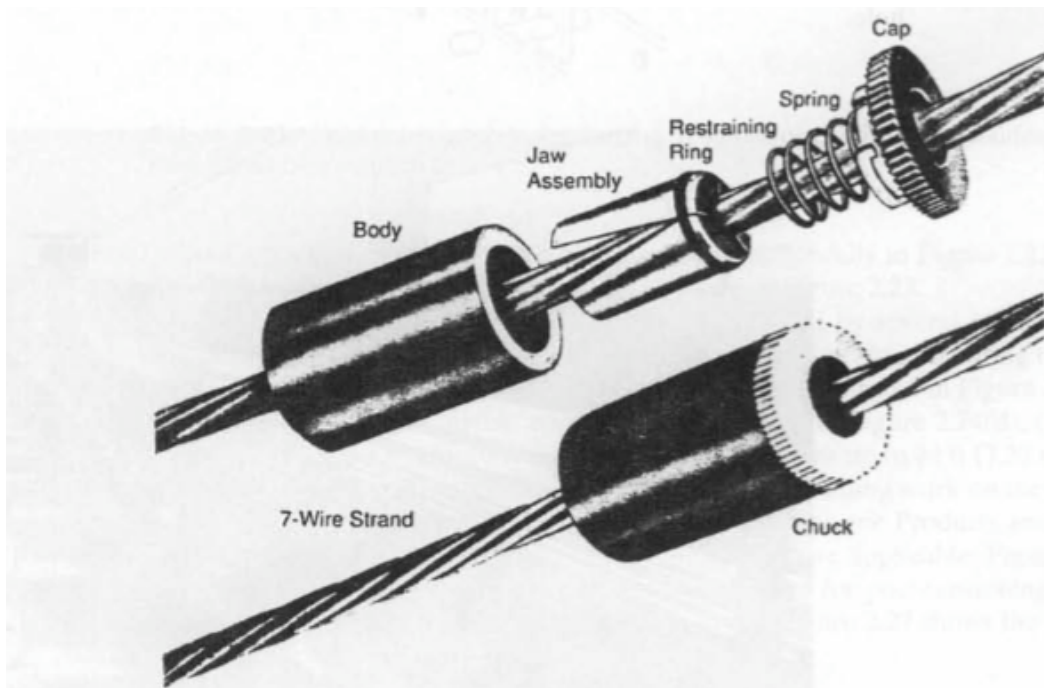


Imagen 5: Anclaje de esfuerzo

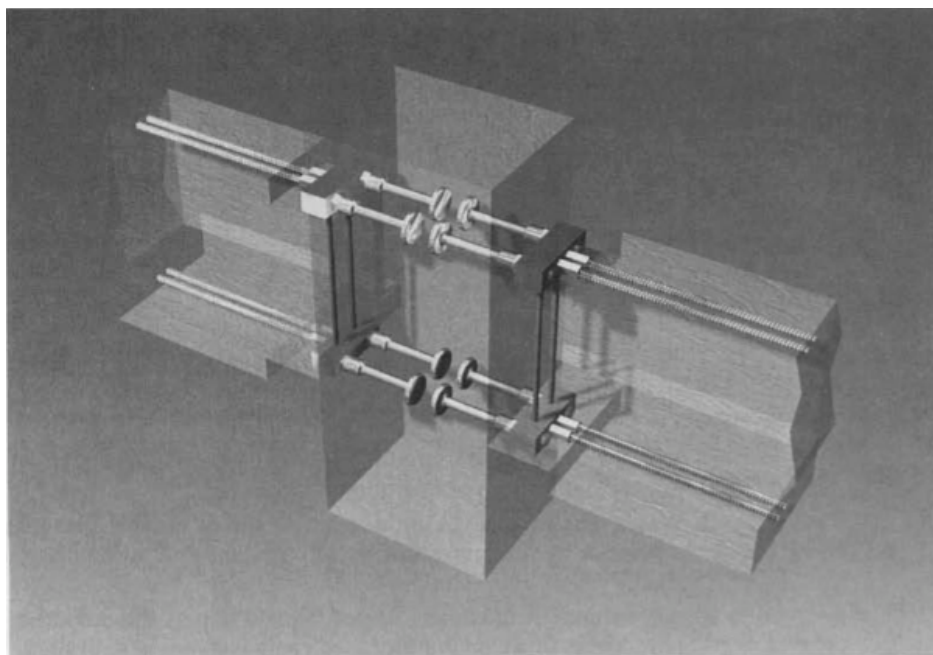


Imagen 6: Anclaje múltiple

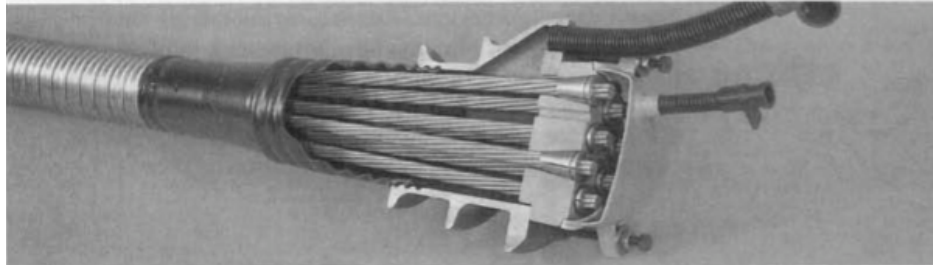


Imagen 7: Acoplador

Sistema de Tesado (Gato Hidráulico)

Uno de los componentes fundamentales del pretensado es el equipo utilizado para transferir la fuerza a los tendones tesados. Tal fuerza es aplicada por medio de los gatos hidráulico de capacidades entre 10-20 ton y unas elongaciones de 15-120 cm, dependiendo si es pretensado o post-tensado, o si se están tesando un tendón o todos a la vez. En la imagen 8 se muestra un gato hidráulico de 500 ton con capacidad para tesar varios tendones a la vez.

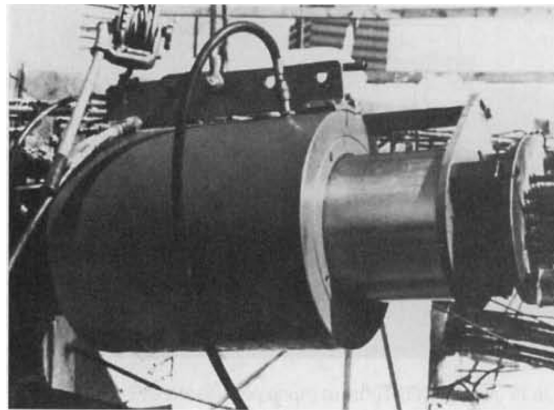


Imagen 8: Gato hidráulico de tendones múltiples de 500-ton Stresstek²³.

Lechada o Cementada para Cubrir los Tendones Luego del Tesado

Para asegurar una protección permanente del acero tensado y asegurar un enlace o unión entre el tendón y el resto de la viga, los ductos del pretensado deben que ser llenado en un proceso de inyección con presión, una lechada de cemento apropiada. La lechada de cemento compone de los siguientes materiales:

1. Cemento Portland: el cemento Portland debe cumplir con las especificaciones, ya sea la ASTM o la UNE
2. Agua: el agua debe ser limpia, potable y libre de cualquier sustancias o partículas que puedan ser perjudicial al cemento o al acero

²³ Instituto del Post-Tensado

3. Ingredientes: en caso de que se le agregue algún ingrediente, debe tener un contenido bajo de agua y fluido. Su fórmula no debe contener químicos que afecten al cemento o al acero, y no se le pueden agregar sustancias que contengan cloruros, fluoruros, sulfatos o nitratos.

Requisitos para Los Ductos

Material. Los ductos deben ser de un material que no permita la entrada del hormigón al ducto, y debe ser capaz de transferir tensiones de las juntas y mantener su forma bajo la carga del cemento. Las cubiertas metálicas deben ser metales ferrosos y ser galvanizados.

Aberturas o Respiraderos para Lechadas. Los ductos deben tener aberturas en ambos extremos. Los respiraderos deben ser ubicados en las partes superiores del ducto, y los drenajes en la parte inferior en caso de que el tendón será colocado y tesado, y el lechado será colocado en un clima bajo 0 grados (de congelación). Toda abertura o respiradero debe estar preparado para prevenir fuga del lechado.

Tamaño del Ducto. Para tendones formados por varios cables, barras o cadenas, el área debe ser el doble de diámetro del tendón, en caso de ser formado por cable, barra o cadenas individuales, debe ser mínimo un ¼ de pulgada de diámetro.

Colocación de los Ductos. Luego de haber colocado los ductos, se haya ajustado y colocado el refuerzo, se debe revisar para ubicar las posibles fallas o desplazamientos que pueda sufrir durante el vaciado. Todos los orificios o fugas deben ser corregidos antes del vaciado.

Proceso de Inyección de Lechado

1. Ductos con paredes de hormigón deben ser enjuagados para garantizar que esté humedecido
2. Todas las aberturas deben estar abiertas para asegurar que el lechado fluya por todo el ducto, asegurando de que no quede agua o aire dentro del ducto, para luego ser sellada completamente. La presión de inyectado no debe ser superior a 1,720 KPa (250 psi)
3. La lechada debe ser bombeada por el ducto desde un extremo hasta el la abertura del otro extremo, y se debe de bombear hasta que el lechado que sale no tengas rastros de agua ni burbujas de aire
4. Cuando no se pueda mantener el flujo de lechada en una dirección, se debe enjuagar y lavar el ducto para extraerlo completo
5. En temperaturas debajo los 0°C el ducto debe mantenerse libre de agua para evitar la congelación
6. El grout no debe estar sobre los 32°C y la presión de llenado debe ser mínimo 5,550 KPa (800psi)

Pretensado Circular

El pretensado circular consiste en desarrollar aros para aplicar tensiones compresivas a todo alrededor de tanques, embalses cilíndricos y tuberías. Usualmente se logra enrollando alambre alrededor tanque o embalse, que siempre esté tensado a una cierta carga establecida. Tal tensión resultará en distribuida equitativamente a todo alrededor del cilindro, evitando que se produzca alguna fuerza de tracción en las paredes.

HISTORIA DEL HORMIGÓN PRETENSADO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

Breve Historia de Puentes y Túneles del País

Siendo un país del tercer mundo, nunca fuimos muy avanzado a nuestro tiempo. Ya que en Europa y en Estados Unidos, para los 1940's ya se veían estructuras y puentes con vigas pre-tensadas, no fue hasta el 1955 que se comienzan a ver los primeros puentes pretensados de la República Dominicana.

En el aspecto vial, alrededor de los 1920, en el país se comienza a utilizar los vehículos de motor, por lo que se inician a aumentar importaciones y las ventas los mismos. El auge del uso del automóvil en el país dio paso a que el gobierno tomara iniciativas viales en la capital y las ciudades alrededores. Luego de que el país fuese devastado en el 1930 por un ciclón, San Zenón, el presidente inició a invertir en las redes viales para reparar las que estaban afectadas, y construir nuevas las que hacían falta.

En 1955, se construyen alrededor de la ciudad, los primeros puentes de vigas pretensadas:

- Puente Presidente Peynado sobre el Río Isabela, ubicado al noreste de la ciudad
- Puente Presidente Troncoso sobre el Río Haina, al sur de la ciudad
- Puente sobre el Río

Luego de esta época, el país pasa por una gran crisis causada por la Guerra de Abril del 1965, que provocó un desequilibrio tanto en la economía como en el desarrollo del país.

Dentro de la ciudad no se vuelven a ver vigas pre-tensadas hasta el 1990, donde se crea el túnel de la Avenida 27 de Febrero, una de las avenidas más importantes de la ciudad. Este túnel cuenta con unas vigas de 16 m de ancho y 1.5 km de longitud, dando espacio para 4 carriles y dos paseos.

Seis años después en el 1996 se construye un elevado de la misma vía, en la Avenida 27 de Febrero, de 10m de ancho y 3.0 km de longitud, en un programa de aliviar el tránsito que salía hacia el este del Distrito Nacional, ciudad que se conoce como Santo Domingo Este o Zona Oriental. En el mismo programa del gobierno, se construye el túnel de Las Américas, del mismo ancho que el túnel de la Avenida 27 de Febrero, pero de solo 0.7 km de longitud.

Luego de estos proyectos, el país comienza a realizar la mayoría de los puentes, elevados y túneles con vigas pre-tensadas de concreto, dando paso a nuevos proyectos más ambiciosos y aportando más al desarrollo del país.

En el aspecto estructural, a partir del 2006 se comienzan a ver centros comerciales más grandes, en el se implementa el sistema de vigas pretensadas para su construcción.

Bella Vista Mall

Comenzando con el centro comercial Bella Vista Mall, que se construye en el 2006, de 15,000 m² de construcción. Este centro comercial está construido en el sector de Bella Vista, unos de los vecindarios creciente más importante de la ciudad y cuenta con cuatro niveles con diversas tiendas, supermercado y cine, y cuatro niveles de parqueo para los clientes.

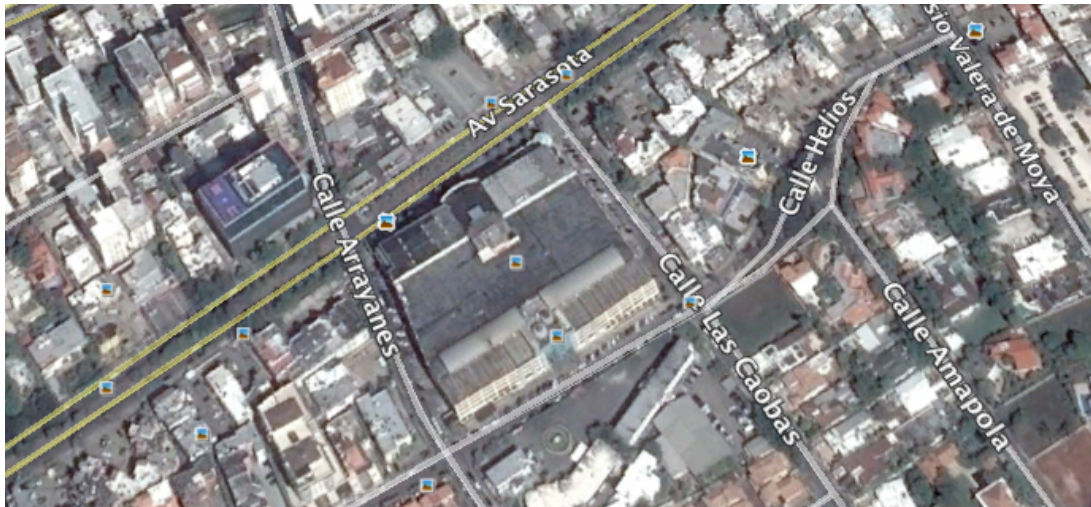


Imagen 9: Google Earth

Debido a las terminaciones del interior, no podemos apreciar el método de construcción utilizado, sin embargo, si lo podemos ver en el parqueo. En la imagen que se encuentra debajo, podemos observar que en la estructura del parque se utiliza dos tipos de viga pretensada: hollow core y doble T.



imagen 10. Wilhelm Heinsen

Podemos ver en que en la subida, la losa se utiliza las vigas doble T de aproximadamente 2.00m de ancho y 15.00m de largo. Al momento de llegar al nivel del próximo piso, podemos ver como cambia a vigas hollow core.

Un detalle que podemos apreciar en la imagen 10, es que el parte superior de ambas vigas tiene una losa de hormigón armado pulido, para poder proveer un amarre apropiado entre las vigas y al mismo tiempo disimular las juntas para que no se sientan al transitar con los vehículos.



Imagen 11. Wilhelm Heinsen

Supongo que uso de éstas vigas varía debido a la resistencia de cada una. Ya que la subida es una pendiente, al momento de un vehículo subir o bajar, las cargas transversales a la viga se hacen mayores, y ya que la viga doble T tiene más altura, tiene más resistencia flexionarse y puede proveer una carga última mayor.

Ágora Mall

El próximo mall construido con este método, es el Ágora Mall en el 2012, ubicado en Sector de Paraíso, próximo al sector más valioso de la ciudad, y cuenta con un área de 16,000m² de construcción, con 4 niveles para tiendas, restaurantes y comercios diversos y 8 niveles de parqueo.

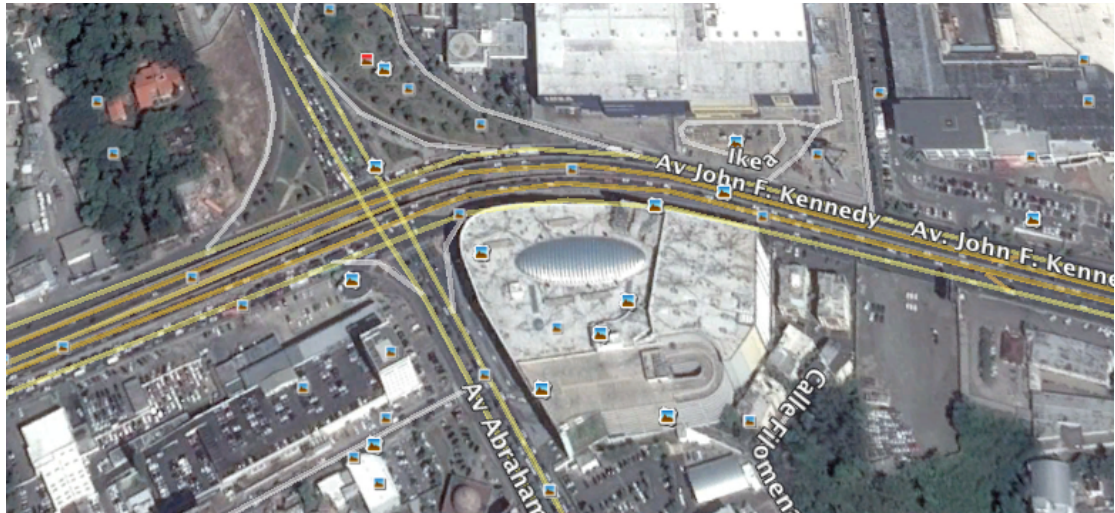


Imagen 12. Google Earth

Al igual que en el Bella Vista Mall, por el parqueo podemos observar que esta construcción fue realizada con vigas hollow core pretensadas. Como muestra la imagen 12, podemos observar en la losa superior del parqueo las vigas pretensadas, y en cima de ella vemos el mismo hormigón pulido. Aunque no podamos apreciar el método constructivo del interior del centro comercial, podemos asumir confiablemente que al igual que el parqueo, esta construido con vigas pretensadas hollow core.



Imagen 13. Wilhelm Heinsen



Imagen 14. Wilhelm Heinsen

Podemos diferenciar este centro con el anterior, en que este utiliza las mismas vigas hollow core en todo el parqueo, incluyendo las rampas. Dado el echo que la tecnología había mejorado en el país, las plantas tienen capacidad de generar vigas más resistentes.

Los próximos dos centros comerciales actualmente están en proceso constructivo, por lo que considero que es una buena oportunidad de presentarlo, ya que podemos apreciar con facilidad el método constructivo utilizado.

Blue Mall Punta Cana

Este centro comercial se encuentra en la provincia de Higüey, al este de la isla, dentro del pueblo costero de Punta Cana. Este centro comercial de un solo nivel, contará de un área total de 40,000 m² de construcción. Como se muestra en la imagen 14, podemos ver el uso de las vigas en la losa del techo.



Imagen 15. bluemallpuntacana.com.do

Podemos observar la continuidad de las vigas hollow core al pasar por encima de las vigas, en toda su longitud hasta el final. Diferenciando del uso que le han dado los otros centros comerciales, en este centro la utilizan como forjado, pero sin tener que resistir peso vehicular, por lo que podemos asumir que las resistencias de estas vigas no necesariamente tienen que ser igual que las vistas anteriormente.



Imagen 16. www.skyscrapercity.com

Down Town Center

Por último, tenemos el Down Town center en el sector de Bella Vista.



Imagen 17. Google Earth

Este centro contará con una área total de aproximadamente 14,000 m², con seis niveles para comerciales, 8 pisos adicionales para oficinas. Aunque no cuenta con tanta área como los demás centros, si es considerado uno de los centros más modernos

construidos en el país. A continuación, podemos ver en la etapa en que se encuentra el proyecto y las vigas utilizadas en el mismo.



Imagen 18. sscdominicana.blogspot.com



Imagen 19. <https://musicacinetv.files.wordpress.com/2015/09/1.jpg>

PROCESO CONSTRUCTIVO Y PLANTA DE PRODUCCIÓN EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

Planta de Producción de Vigas Pre-Tensadas de Hormigones del Caribe

De todas la plantas de producción de vigas pre-tensadas en Santo Domingo, tuve la oportunidad de visitar la planta de Hormigones del Caribe, ubicada en el km 14 de la autopista de Las Américas, al este del Distrito Nacional. Esta planta tiene capacidad de producir vigas Doble T y losas Hollow Core. A continuación voy a dar detalles de la producción de vigas Hollow Core, ya que eran las que se estaban produciendo al momento de la visita.

Las losas Hollow Core, son losas pretensadas utilizadas comúnmente para pisos y techos, ya que tienen buena resistencia, con hormigón de 450kg/cm^2 , y su diseño con orificios longitudinales permite reducir el peso, siendo resistente y ligera al mismo tiempo. El diseño depende de la demanda del cliente, pero suele tener de 4-5 orificios longitudinales y 4 o más cables tensados a todo el largo de la viga, específicamente de baja relajación. Estos, son tensados a más de 25,000 lbs, dando capacidad a la viga de resistir cargas de 850kg/cm^2 .

Para asegurar la producción de las losas, la mezcla del hormigón es producida en obra, y los cables utilizados son importados desde California, en los Estado Unidos, aprobado por la ASTM.

La intención del proyecto es tener en cuenta la producción de las vigas a utilizar en los puentes y demás, pero dado los inconvenientes de visitar una planta, y que al momento de la visita solo estén produciendo losas pretensadas Hollow Core, el proceso constructivo se hará sobre la losa Hollow Core y no Doble T.

Los materiales se importan por separado a la planta: el cemento en funda, los agregados y la arena aparte. El volumen que voy a utilizar depende de la producción que voy a realizar en el momento, pero debido a la experiencia en la producción todas esas cantidades están establecidas.

Para comenzar con el concreto, la mezcla se hace en seco, para que antes de transportar la mezcla al molde se le añada un aditivo súper-plastificante y acelerador, para permitir que la mezcla se pueda realizar con la menor cantidad de agua posible y fraguar lo mas rápido posible. El agua no se añade hasta que no se coloca dentro de la máquina que produce la viga.



Imagen 20: Planta de Prefabricados de Hormigones del Caribe

La producción de la losa toma lugar sobre una bandeja de acero de 120cm de ancho y de longitud variable, que hace el efecto del molde. Los cables de acero, cuya cantidad depende del diseño de la viga, son tesados (a la presión especificada por el cliente) justo por encima de la bandeja, para que al momento de vaciar la losa queden incrustados dentro de la misma. Sobre la bandeja también se mantiene una película de agua de más o menos de 5cm en toda su longitud y la máquina extrusora que produce la losa, que al momento de verter el concreto, obtiene el agua que necesita para suplirle a la mezcla antes de producir la losa.



Imagen 21: Planta de Prefabricados de Hormigones del Caribe



Imagen 22: Planta de Prefabricados de Hormigones del Caribe

La maquina extrusora, puede deslizarse en toda la longitud de la bandeja o molde, de esta forma, al momento de producir la viga se puede ir deslizando para poder cubrir el molde completo. En la parte inferior, tiene una salida de concreto rectangular y 4 cilindros en el centro que son los que le dan la forma a los huecos, que cuya cantidad varia de 4 a 5, dependiendo de la necesidad. La maquina es posicionada al inicio del molde, pero éste esta separado a 60cm aproximadamente del marco que sujeta los cables, para poder tener un espacio para cortar los cables.



Imagen 23: Planta de Prefabricados de Hormigones del Caribe

Al momento de que se le vierte el concreto con el aditivo, la máquina humedece la mezcla, dejándola con un revenimiento 0 ya que al tener aditivo apenas requiere agua, y la desliza por la salida rectangular produciendo la losa y deslizándose al mismo tiempo. Ya que el concreto no tiene ningún revenimiento, la losa se mantiene de la misma forma que sale, sin sufrir ninguna deformación.



Imagen 24: Planta de Prefabricados de Hormigones del Caribe

El mismo día que es producida, se cubre con una lona para evitar deshidratación por el sol, y espera hasta el próximo día para ser cortada junto con los alambres. Gracias al aditivo, esta losa esta lista para transportarse a las 24 horas de su producción. En este caso particular, las losas estaban siendo producidas para un centro comercial en el centro de la ciudad capital.



Imagen: 25: Planta de Prefabricados de Hormigones del Caribe

CONCLUSIONES

Luego de haber realizado las investigaciones de lugar, acerca del método, sus materiales, procedimientos y historia en la República Dominicana, puedo decir que he ampliado mi visión en la ingeniería de una manera que nunca pensé que fuera posible.

Viendo como comienza el método y como se va desarrollando, conmueve a uno mismo la forma en el que los grandes desarrolladores se arriesgaron a descubrir nuevos métodos, y construir cosas que nunca imaginaron poder realizar.

Lo que el método representa en los países avanzados, es mucho más importante de lo que representa en mi país. Últimamente, la vigas y losas pretensadas se han convertido en el eslabón que le faltaba a la cadena del desarrollo. Desde que se construyó el primer puente de vigas pretensada, en el 1965, hasta construir el primer centro comercial con losas pretensadas en el 2000. Desde entonces, más y más obras de magnitudes cada vez superiores se han visto realizarse gracias a la implementación de éste método en el país.

Debido a la baja tasa de educación y preparación profesional en el país, no fue fácil encontrar información documentada acerca de la historia en el pretensado en Santo Domingo. No existen documentos que detallen los avances realizados en el país, sino las noticias que quedaron registradas en el pasado, dando muy poco detalle del sector de la ingeniería.

Aunque no fue fácil la búsqueda de información, si pude recopilar algunos detalles claves para mi maestría, permitiéndome completar mi trabajo final de máster.

BIBLIOGRAFÍA

Billington, D. P. (2004). Historical Perspective on Prestressed Concrete. PCI Journal, 49(1), 14-30.

Jimenez Montoya, Pedro (2000) Hormigón Armado, Capitulo 9, Editorial Gustavo Gili, p. 160

Civilizations in Africa: The Iron Age South of The Sahara

Neeham, Joseph (1986). Science and Civilization in China: Volume 4, Part 3, Civil Engineering and Nautics. Taipei: caves books, Ltd. p. 563

Museo de la Metalurgia, Eligóbar

Varios Autores (1984). Enciclopedia de Ciencia y Técnica. Tomo 1 Acero. Salvat Editores S.A.

Nawy, Edward (2009), Prestressed Concrete: A Fundamental Approach, Prentice Hall, p.36

Instituto del Post-Tensado

Hormigones del Caribe (2000)

El Diario Libre (1980)

Instituto Americano de Concreto (2005)

El Listín Diario

www.agora.com.do

www.Downtowncenter.com.do

www.bluemallpuntacana.com.do/index.php/nosotros1